

Rancang Bangun Alat Uji Korosi *Salt Spray Chamber* dan Perhitungan *Heat Transfer* pada *Chamber*

Yosep Purnama^{1,a*}, Wahyudi¹, Agus Subandi Harto¹,
Rudi Suhradi Rachmat^{2,b}

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Universitas Presiden, Jawa Barat, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Presiden, Jawa Barat, Indonesia

^ayosep0588@gmail.com, ^brudi.sr@president.ac.id

Abstract. *In designing and producing a salt spray chamber test apparatus for the required parameters to be standardized for the test method, the tool is designed and manufactured according to ASTM B117-09 standards, in addition to the standards mentioned, the design of this corrosion test apparatus also refers by studying ISO standards and JIS in the manufacture of such tools. By making this tool is expected to be able to test a specimen of a steel material. In addition to testing, heat transfer calculations and analysis in the chamber area are needed to determine the heat lost and the required power heater. From the result of spray salt collecting test obtained 1.5 ml salt solution in collecting cup with wide of 80 cm² within 1 hour done in two positions, so for equalization of salt fog is in accordance with standard ASTM B117 collecting salt spray 1-2 ml / hr. The next parameter is that the temperature of the chamber must be maintained at 35°±2 °C from the temperature test results in accordance with ASTM B117 standard. From the test result of plate material JIS G 3141 SPCC (Steel Plate Cold Rolled Coiled) dimension 76 x 127 x 0.7 mm for 48 hours with test method. Neutral salt spray result from corrosion rate calculation got corrosion rate equal to 27.4665 mpy.*

Keywords. *Salt spray chamber, Heat transfer, and Corrosion test.*

Abstrak. Dalam merancang dan membuat alat uji *salt spray chamber* agar parameter yang dibutuhkan sesuai standar metode pengujian maka alat ini dirancang dan dibuat berdasarkan standar ASTM B117-09, selain mengacu pada standar tersebut rancang bangun alat uji korosi ini juga mereferensi dengan mempelajari standar ISO, dan JIS dalam pembuatan alat tersebut. Dengan dibuatnya alat ini diharapkan mampu melakukan pengujian terhadap sebuah spesimen suatu material baja. Selain pengujian, perhitungan *heat transfer* serta analisa di daerah *chamber* diperlukan untuk menentukan *heat lost* yang terjadi dan *power heater* yang dibutuhkan. Dari hasil pengujian pengumpulan semprot kabut garam didapat 1.5 ml larutan garam dalam *colecting cup* dengan daerah luas 80 cm² dalam waktu 1 jam yang dilakukan pada dua posisi, sehingga untuk pemerataan kabut garam tersebut sudah sesuai dengan standar ASTM B117 pengumpulan semprot kabut garam 1-2 ml/jam. Parameter berikutnya yaitu temperatur pada *chamber* harus dijaga pada temperatur 35°±2°C dari hasil pengujian temperatur sudah sesuai dengan standar ASTM B117. Dari hasil pengujian material plat JIS G 3141 SPCC (*Steel Plate Cold Rolled Coiled*) dimensi 76 x 127 x 0.7 mm selama 48 jam dengan metode pengujian *neutral salt spray* hasil dari perhitungan laju korosi didapat laju korosi sebesar 27.4665 mpy.

Kata kunci. *Salt spray chamber, Heat transfer, dan Uji korosi.*

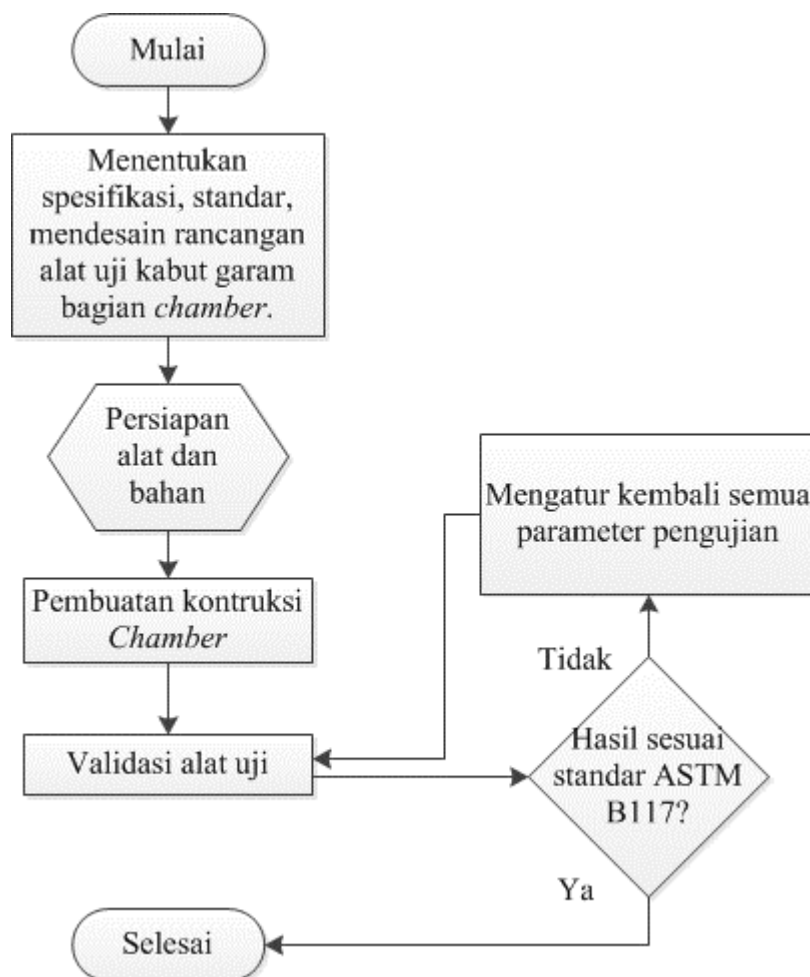
Latar Belakang

Korosi merupakan suatu kendala bagi para insinyur ketika akan merancang suatu alat dengan berbahan dasar logam. Logam adalah sumber daya yang tidak dapat diperbaharui dan sering terjadi masalah pada logam berupa korosi. Korosi mengakibatkan kerugian baik dari segi ekonomis maupun segi struktural. Salah satu pengujian laju korosi yang dilakukan di laboratorium yaitu menggunakan alat uji *salt spray chamber*, di dalam mata kuliah korosi dituntut untuk mengerti dan

memahami serta mampu mempraktekannya, agar mampu mempraktekannya serta memahami materi tentang korosi. Dikarenakan alat uji tersebut belum tersedia di laboratorium *President University* maka kami mencari referensi serta standar dalam membuat alat tersebut dan menjadikannya sebagai bahan karya tulis dan dengan harapan alat tersebut dapat dibuat dan dijadikan alat praktek ketika mempelajari mata kuliah tentang korosi. Dalam membuat suatu alat uji yang dapat digunakan untuk mengetahui laju korosi terhadap suatu material baja, maka rancang bangun alat uji tersebut dibuat menggunakan suatu standar agar hasil pengujian mendapatkan data yang akurat serta pembuatan alat yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dengan biaya yang tidak terlalu mahal serta proses pembuatan yang dapat dikerjakan dengan proses pemesinan yang tersedia di laboratorium *President University*.

Tujuan dan manfaat yang ingin diperoleh adalah menghasilkan alat uji korosi *salt spray chamber* yang baik agar dapat melakukan pengujian pada spesimen untuk mengukur laju korosi pada suatu material logam sesuai dengan standar ASTM B117. Selain itu untuk mengetahui dan mampu melakukan perhitungan laju korosi yang terjadi pada suatu material logam dengan menggunakan alat tersebut.

Metode Perancangan dan Cara Kerja Sistem



Gambar 1. Flow chart perancangan alat

Proses Pembuatan Chamber

Pada proses ini pembuatan *chamber* bagian dalam, luar, tutup dan bagian lainnya yang menggunakan lembaran akrilik dijadikan dalam satu posisi. Karena material lembaran akrilik yang sudah ada berukuran 1220 mm x 2240 mm, yang kemudian posisi pemotongan diatur agar lebih efisien dalam penggunaan material maka dibuatlah sket pada gambar menggunakan bantuan aplikasi di komputer.

Prinsip kerja *salt spray chamber* sangat mudah yaitu tekanan udara pada kompresor mengisi tabung saturasi melalui pipa akrilik udara mengalir dari bawah keatas dengan kondisi bercampur uap air dengan temperatur dijaga pada temperature $47 \pm 2^\circ\text{C}$ dengan menggunakan temperatur kontrol dan tekanan pada 0.83-1.24 bar pada tabung saturasi menggunakan *valve* pengatur udara. Kemudian uap air menuju *nozzle* pada bagian *chamber* dan dengan sistem siphon larutan garam mengalir ke dalam *reservoir* larutan NaCl. Hasil dari semprotan ini menjadi kabut yang menyebar di daerah *chamber* dan temperatur dijaga pada 35°C dengan menggunakan tempertur kontrol. Sudut tutup *chamber* dibuat 120° agar sirkulasi kabut garam tidak menetes pada benda kerja dengan cara mengatur penyebar kabut garam pada bagian siphon.

Setelah semua peralatan telah selesai dibuat maka proses selanjutnya adalah proses perakitan sebagai berikut:

1. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk menyuplai udara pada saturasi tower dan mengalirkannya ke *nozzle* sehingga menghasilkan kabut.

2. Selang

Selang digunakan untuk mengalirkan udara dari kompresor, tank saturasi, *Nozzle* dan larutan garam.

3. *Thermocouple*

Alat yang tersambung pada panel kontrol yang berfungsi sebagai pengukur temperatur yang diletakkan pada tiang pengabut *chamber* dalam alat uji *salt spray*

4. *Thermo* kontrol dan *relay*

Alat ukur untuk mengatur besar kecilnya tegangan yang masuk pada *heater* untuk menjaga temperatur agar tetap stabil saat pengujian berlangsung.

5. Saturasi *tower*

Berfungsi sebagai pencampuran antara udara dan uap agar kelembaban udara sesuai dan dapat terjaga saat pengujian berlangsung.

6. *Salt solution*

Salt solution berfungsi untuk menampung air garam dan mengisi otomatis ke dalam siphon menggunakan *level* kontrol.

7. Siphon dan *nozzle*.

Siphon berfungsi untuk menjaga ketinggian batas air terhadap *nozzle* agar aliran air garam sesuai dengan yang diharapkan saat pengujian berlangsung. *Nozzle* merupakan pencampuran udara dan air garam dalam proses pengkabutan.



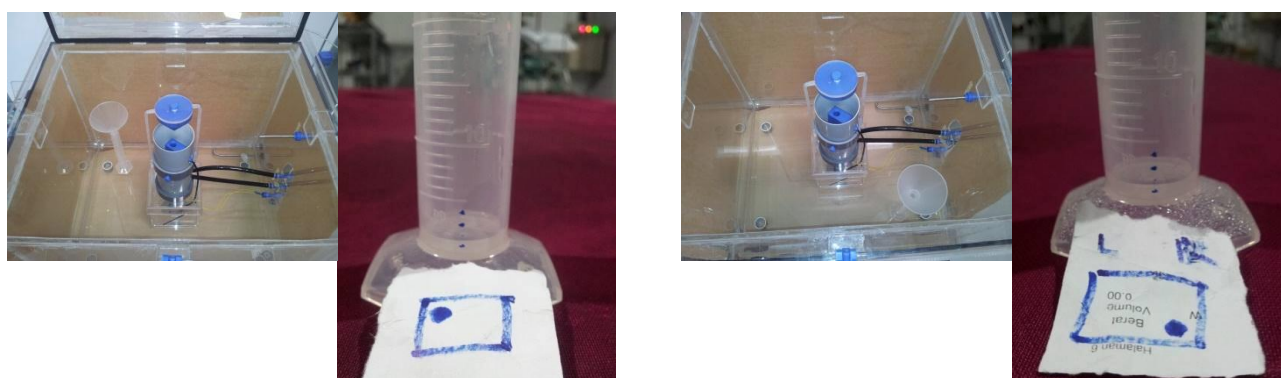
Gambar 2. Rancangan *Salt Spray Test Chamber*

Pengujian Salt Spray Chamber

1. Persiapan pembuatan larutan uji
Larutan uji yang digunakan dalam pengujian kabut garam adalah natrium klorida (NaCl) karena larutan yang mengandung klorida mampu memberikan efek korosif yang agresif pada logam. Natrium klorida (NaCl) yang digunakan dengan kadar sebanyak 5% dari total larutan.
2. Pembuatan material uji
Adapun material uji yang digunakan dalam penelitian ini dengan melihat pada standar ASTM B117 sebagai berikut:
Material berupa plat dengan ketebalan 76 mm x 127 mm, tebal 0.7 mm sebanyak 3 spesimen dengan material yang berbeda.
3. Prosedur persiapan benda uji
 - a. Benda uji dibersihkan dari kotoran (minyak dan debu) dan karat-karat dipermukaan logam.
 - b. Spesimen dibersihkan dan dilarutkan didalam aquades hingga 1000 mL.
 - c. Semua spesimen yang masuk ke larutan pembersih kemudian dibersihkan dengan aquades kemudian dikeringkan.
 - d. Setelah itu ditimbang berat awal masing-masing spesimen sebelum diuji.
 - e. Setelah diuji kemudian ditimbang berat akhir masing-masing spesimen.
 - f. Kemudian dihitung laju korosinya.
4. Uji kabut garam
Pengujian semprot kabut garam menggunakan standar ASTM B117. Langkah-langkah persiapan alat uji kabut garam (*salt spray chamber*) yaitu:
 - a. Buka tutup *salt spray chamber* dengan memutar baut dan mur pengunci yang terpasang pada *salt spray chamber*.
 - b. Meletakkan sampel pelat hingga kemiringan $20^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ terhadap garis vertikal dan ditempatkan pada rak-rak yang terbuat dari PVC.
 - c. Larutan uji 5% natrium klorida (NaCl) dari total berat air.
 - d. Temperatur *chamber* dijaga pada temperatur $35^{\circ}C$ dengan pH 6.5-7.2 dan temperatur saturasi dijaga pada temperature $47^{\circ}C$ dengan tekanan 1-2 bar.
 - e. Waktu *eksposure* spesimen uji secara periodik mulai 1x24 jam.
 - f. *Nozzle* harus dilihat secara berkala dikarenakan rawan mengalami pengendapan garam.
 - g. Pada saat melakukan pengujian diambil 3 spesimen uji kemudian membersihkannya, setelah itu ditimbang untuk mendapatkan berat akhir.

Hasil dan Analisis

Setelah melakukan pengujian kelayakan alat guna mengetahui kinerja alat uji korosi yang telah dirancang dengan melakukan pengumpulan kabut garam pada *Colector Cup* dengan daerah luas 80 cm^2 dalam waktu 1 jam yang dilakukan pada dua posisi didapat rata-rata 1.5 ml larutan NaCl dari hasil pengumpulan kabut garam tersebut, sehingga untuk pemerataan kabut garam tersebut sudah memenuhi standar parameter uji pada ASTM B117 yaitu 1-2 ml/jam.



Gambar 3. Hasil pengumpulan kabut garam

Parameter uji berikutnya yaitu temperatur *chamber* dijaga pada $35^{\circ}\pm 2^{\circ}$. Dari hasil visual yang ditampilkan pada *display* temperatur kontrol menunjukkan temperatur berada pada $35^{\circ}\pm 2^{\circ}$. Maka parameter dari alat tersebut sudah sesuai standar pengujian ASTM B117. Sehingga kelayakan alat sudah sesuai standar parameter uji pada ASTM B117.

Hasil Uji Korosi Pada Plat Baja

Dari hasil pengujian yang dilakukan dalam rentang waktu 48 jam dengan standar pengujian ASTM B117, alat uji *salt spray chamber* tersebut dapat beroperasi dengan baik.



A. Sebelum pengujian

B. Setelah pengujian

Gambar 4. Hasil uji korosi pada plat baja

Dari hasil pengujian semprot kabut garam dapat dilihat bahwa terdapat Perbedaan berat spesimen uji sebelum dan setelah dilakukan pengujian sebesar 0.6 g. Melalui perbedaan berat awal dan berat akhir maka laju korosi yang terjadi dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$mpy = 534W/\rho At$$

Spesimen : JIS G 3141 SPCC [13]

Tabel 1. Komposisi kimia material SPCC.

Unsur	Kadar
Carbon (C)	0.010
Silikon (Si)	<0.0001
Sulfur (S)	0.007
Phospor (P)	0.011
Mangan (Mn)	0.091

Dimensi : 76 mm x 127 mm, tebal 0.7 mm

Waktu *exposure* : 48 jam

Berat awal : 53.9356 g, berat akhir: 53.3372 g

Dari data diatas maka untuk selisih berat (W), berat jenis spesimen (ρ) dan luas spesimen uji (A) yaitu:

$$W = \text{Berat awal-Berat akhir} = 53.9356 \text{ g} - 53.3372 \text{ g} = 0.5984 \text{ g} = 598.4 \text{ mg}$$

$$\rho = \text{massa/volume} = 53.9356 \text{ g} / (76 \times 127 \times 0.7) \text{ mm}$$

$$= 53.9356 \text{ g} / (7.6 \times 12.7 \times 0.07) \text{ cm} = 7.9829 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$$

A = Luat atas bawah + Luas kiri dan kanan + Luas depan dan belakang

Dimensi spesimen = 76 mm x 127 mm, tebal 0.7 mm

$$= 2.9921276 \text{ in} \times 5.0000027 \text{ in} \times 0.02755907 \text{ in}$$

$$\text{Luat atas bawah} = 2 \times 2.9921276 \times 5.0000027 = 29.92129216 \text{ in}^2$$

$$\text{Luas kiri dan kanan} = 2 \times 2.9921276 \times 0.02755907 = 0.164920508 \text{ in}^2$$

$$\text{Luas depan dan belakang} = 2 \times 5.0000027 \times 0.02755907 = 0.275590849 \text{ in}^2$$

$$A = 30.36180351 \text{ in}^2, t = 48 \text{ jam}$$

Dari variabel di atas maka laju korosinya adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = 534 (598.4) / (7.9829)(30.36180351)(48) \text{ mpy}$$

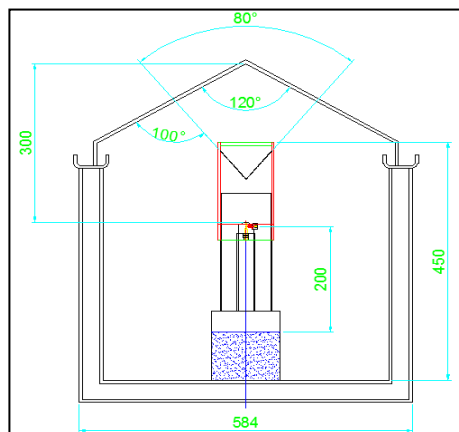
$$\text{Laju korosi} = 27.4665 \text{ mpy}$$

Dari hasil perhitungan didapat laju korosi pelat SPCC sebesar 27.4665 mpy

Perhitungan Sudut Pada Chamber

Perhitungan ini bertujuan agar kabut dapat menyebar secara merata di dalam *chamber*. Dengan menggunakan *theori spray coverage* diharapkan kabut dapat menyebar secara merata di dalam *chamber*. Berikut perhitungan *Spray coverage* berdasarkan persamaan dibawah.

$$TSC = 2 \cdot L \cdot \tan(TSA/2)$$



Gambar 5. Sudut mist generation regulator

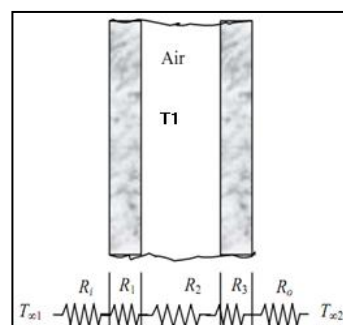
$$TSC = 2 \cdot L \cdot \tan\left(\frac{TSA}{2}\right) = 2(300) \cdot \tan\left(\frac{80}{2}\right) = 503.46 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan maka diperoleh diameter *full cone* penyemprotan sebesar 503.46 mm sehingga dapat menutupi dimensi ruang *chamber* 550 x 450 mm.

Perhitungan Heat Transfer pada Chamber

a. Perhitungan Temperatur Pada Dinding Insulasi Udara

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui temperatur pada dinding insulasi udara menggunakan analogi *electrical heat lost* seperti ditunjukkan pada Gambar disamping



Gambar 6. Analogi *electrical heat lost* [5]

$$\dot{Q} = \left(\frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \right) W, \dot{Q} = \left(\frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{total}} \right) W$$

Variabel yang diketahui:

$$A_o (\text{luas chamber luar}) = 1.371068 \text{ m}^2$$

$$A_i (\text{luas chamber dalam}) = 1.091132 \text{ m}^2$$

$$h_1 (\text{Koefisien Konveksi udara luar}) = 10 \text{ W/m}^2$$

$$h_2 (\text{Koefisien Konveksi udara dalam}) = 25 \text{ W/m}^2$$

$$L_{ins} = 0.03 \text{ m}$$

$$L_{o, Akrilik} = 0.006 \text{ m}$$

$$L_{i, Akrilik} = 0.006 \text{ m}$$

$$k_{pvc} = 0.09 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k_{udara} = 0.024 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$T_{\infty 1} = 25 ^\circ\text{C}$$

$$T_{\infty 2} = 35 ^\circ\text{C}$$

Maka:

$$R_i = R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 A_o} = 0.1371068 ^\circ\text{C/W}$$

$$R_1 = R_3 = R_{pvc} = \frac{L_{o, akrilik}}{k_{pvc} A_o} = 0.0914045 ^\circ\text{C/W}$$

$$R_2 = R_{udara} = \frac{L_{ins}}{k_2 A_i} = 0.0914045 ^\circ\text{C/W}$$

$$R_o = R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 A_o} = 0.0436453 ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{total} = R_{conv,1} + 2R_1 + R_2 + R_{conv,2} = 1.708814 ^\circ\text{C/W}$$

$$\dot{Q} = \left(\frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \right) = 5.852013 \text{ W}$$

$$T_1 = T_{\infty 2} - \dot{Q} \cdot R_{conv,2} = 34.74459 ^\circ\text{C}$$

Hasil perhitungan didapat temperatur dinding insulasi udara yaitu 34.7 °C.

Hasil perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan actual pengukuran.



Gambar 7. Aktual pengukuran T1 (permukaan insulasi)

Dari hasil perhitungan didapat temperatur dinding pada insulasi atau *water jacket* **34.74459** °C. Kemudian dilakukan pengukuran menggunakan *thermometer* untuk mengetahui temperatur aktual pada dinding insulasi. Dari hasil pengukuran didapat temperatur 34 °C. Terdapat perbedaan 0.74459 °C, hal ini dikarenakan *thermometer* yang digunakan memiliki digit nol.

Perhitungan Temperatur Permukaan Heater dan Waktu Pre-Heating

Untuk menaikkan temperatur saat pertama alat dihidupkan elemen pemanas membutuhkan waktu untuk maikan temperatur sesuai dengan yang diharapkan. Untuk mengetahui berapa lama temperatur tersebut mencapai temperatur yang diharapkan sebagai berikut:

Properties Air pada temperatur 35°C:

$\rho_l = 993.99 \text{ kg/m}^3$, $\rho_v = 0.039674 \text{ kg/m}^3$, $\sigma = 0.070402 \text{ N/m}$, $Pr_l = 4.8235$, $h_{fg} = 2564500 \text{ J/kg}$,
 $\mu_l = 0.00071931 \text{ Pa-s}$, $C_{p_l} = 4179.5 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

Jenis elemen pemanas Stainless steel *surface*

$C_{sf} = 0.013$, $n = 1$, $A_s = 3.14 \times 0.01 \times 0.5 = 0.015 \text{ m}^2$

Air pada temperatur ruangan mendekati 1kg/L, maka masa 1 liter air pada 18°C mendekati 1 kg. Kecepatan transfer energy yang dibutuhkan untuk menguapkan sebagian air dalam 25 menit dengan volume air yang dibutuhkan untuk insulasi sebanyak 10.5 L maka untuk Δ_t adalah:

$\Delta_t = 25 \times 60 \times 10.5 = 15750 \text{ s}$

$Q = \dot{Q} \cdot \Delta_t = m \cdot h_{fg} \rightarrow \dot{Q} = m \cdot h_{fg} / \Delta_t = 854.8333333 \text{ W}$

$\dot{q} = \dot{Q} / A_s = 54447.98301$

Dengan menggunakan *nucleate boiling heat flux* untuk temperatur permukaan tertentu dapat ditentukan menggunakan relasi *Rohsenow*:

$$\dot{q}_{nucleate} = \mu_l \cdot h_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left[\frac{C_{p_l}(T_s - T_{sat})}{C_{sf} \cdot h_{fg} \cdot Pr_l^n} \right]^3$$

$$= (0.00071931)(2564500) \left[\frac{9.81(993.99 - 0.039674)}{0.070402} \right]^{1/2} \left[\frac{4179.5(T_s - 100)}{(0.013)(2564500)(4.8235)} \right]^3$$

$T_s = 44.39^\circ\text{C}$

$\Delta T = 44.39^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C} = 26.39267821^\circ\text{C}$, $C_p = 4195.2$, $\Delta_t = m \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{Q}$

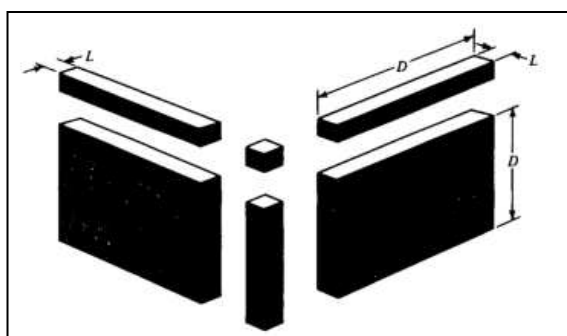
$\Delta_t = 5.25 \times 4195.2 \times 26.39267821 / 854.8333333 = 1360 \text{ s}$

$\Delta_t = 22.7 \text{ menit}$

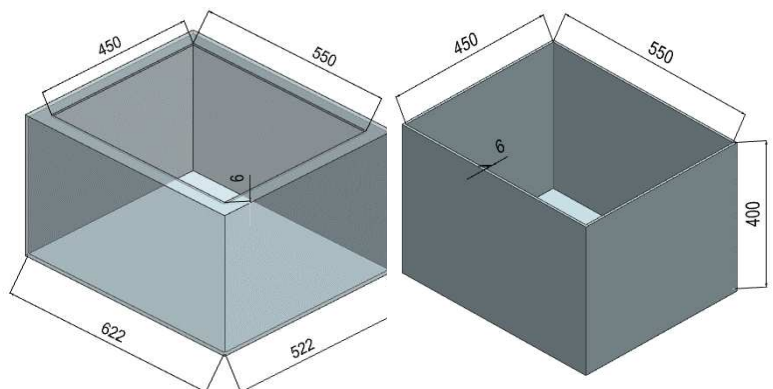
Dari hasil perhitungan diatas diperoleh waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur 35°C pada chamber yaitu selama 22.7 menit. Sehingga dari perhitungan ini dapat diketahui waktu *pre-heating* alat sebelum beroperasi.

Perhitungan Heat Lost Chamber

Perhitungan ini bertujuan mencari *heat lost* di daerah dinding *chamber*, perhitungannya sebagai berikut:



Gambar 8. Shape factor [5]



Gambar 9. Dimensi *chamber* luar dan dalam

Untuk menghitung *heat lost* dinding: $q = k_{pvc} \cdot S \cdot \Delta T \text{ (W)}$

Untuk menghitung *shape factor* dinding:

Dinding = A/L

Dinding pinggir = $0.54D$

Dinding pojok = $0.15L$

Diketahui: $k_{pvc} = 0.09 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, $\Delta_t = 34.7^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 9.7^\circ\text{C}$

Tabel 2. Perhitungan *shape factor chamber* luar

Daerah	Rumus	Jumlah	Panjang	Lebar	P x L	Satuan
Dinding	A/L	2	0.43	0.622	89.15333	m
	A/L	2	0.522	0.622	0.401868	m
(Dikurangi Lubang)			-0.45	-0.55	- 0.2475	m
	A/L	2	0.43	0.522	74.82	m
Daerah	Rumus	Jumlah	Panjang	Lebar	P x L	Satuan
Dinding pinggir	0.54	4	0.43	-	0.9288	m
	0.54	4	0.622	-	1.34352	m
	0.54	4	0.522	-	1.12752	m
Dinding pojok	0.15	8	0.006	-	0.0072	m
S total					167.7822	m

Tabel 3. Perhitungan *shape factor chamber* dalam

Daerah	Rumus	Jumlah	Panjang	Lebar	P x L	Satuan
Dinding	A/L	1	0.45	0.55	41.25	m
	A/L	2	0.4	0.55	73.33333	m
	A/L	2	0.45	0.4	0.002146	m
Dinding pinggir	0.54	2	0.45	-	0.486	m
	0.54	2	0.4	-	0.432	m
	0.54	2	0.55	-	0.594	m
Dinding pojok	0.15	4	0.006	-	0.0036	m
S total					116.1011	m

$$q_{\text{Chamber Luar}} = k_{PVC} \cdot S \cdot \Delta T = (0.09)(167.7822)(9.7) = 146.4738967 \text{ W}$$

$$q_{\text{Chamber dalam}} = k_{PVC} \cdot S \cdot \Delta T = (0.09)(116.1011)(9.7) = 101.3562419 \text{ W}$$

$$q_{\text{total}} = q_{\text{Chamber Luar}} + q_{\text{Chamber dalam}} = \mathbf{247.83 \text{ W}}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh besarnya *heat lost* yang disebabkan oleh konduksi di daerah dinding *chamber* yaitu **247.83 W**.

Perhitungan *Heat Lost* Radiasi, Konveksi, dan Konduksi

Perhitungan *heat lost* yang disebabkan oleh radiasi, konveksi dan konduksi sebagai berikut:

A. *Heat lost* radiasi

Diketahui:

$$T_{\infty} = 35^{\circ}\text{C} = 308^{\circ}\text{K}, T_s = 44^{\circ}\text{C} = 317^{\circ}\text{K}$$

$$T_{avg} = \frac{308^{\circ} + 317^{\circ}}{2} \text{K} = 317^{\circ}\text{K}$$

$$k = 0.02662 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}, P_r = 0.7255, \alpha = 0.00002346 \text{ m}^2/\text{s}, \nu = 0.00001702 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{AB}(\text{Mass diffusivity}) = D(\text{H}_2\text{O}) - \text{Udara} = (1.87 \times 10^{-10}) \frac{T^{2.072}}{P}$$

$$D_{AB}(\text{Mass diffusivity}) = (1.87 \times 10^{-10}) \frac{313^{2.072}}{1} = 2.76292 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Tekanan saturasi air pada temperatur } 35^{\circ}\text{C}: P_{sat@35^{\circ}\text{C}} = 5.628 \text{ kPa}$$

$$\text{Tekanan saturasi air pada temperatur } 45^{\circ}\text{C}: P_v = 9.593 \text{ kPa}, h_{fg} = 2395 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Gas konstanta: } R_{udara} = 0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}, R_{air} = 0.4615 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{Emisivity air: } \varepsilon = 0.95$$

$$\text{Luas permukaan chamber daerah bawah: } A = P \times l = 0.622 \times 0.522 = 0.324684 \text{ m}^2$$

Surface Tension: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, $\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{surr}^4)$

$$\dot{Q}_{rad} = 0.95(0.324684)(5.67 \times 10^{-8})(317^4 - 273^4) = \mathbf{80.33786622 \text{ W}}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh besarnya *heat lost* yang disebabkan oleh radiasi yaitu **80.33786622 W**.

B. Heat lost konveksi

Air dan udara adalah saturasi: $P_{v,\infty} = 0.6(P_{sat@35^\circ\text{C}}) = 0.6(5.628) = 3.3768 \text{ kPa}$

Densitas uap air, udara kering, dan percampuran air-udara dari permukaan:

$$\rho_{v,s} = P_{v,s}/R_v T_s = 0.065491635 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{a,s} = P_{a,s}/R_a T_s = 1.007029195 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 1.072520831 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{v,\infty} = P_{v,\infty}/R_v T_\infty = 0.023776242 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{a,\infty} = P_{a,\infty}/R_a T_\infty = 1.108981087 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_\infty = \rho_{v,\infty} + \rho_{a,\infty} = 1.132757329 \text{ kg/m}^3$$

Parameter permukaan atas: $p = 2PL = 2(0.622 + 0.522) = 2.288 \text{ m}$

Karakteristik panjang:

$$A_s = (0.622)(0.522) = 0.324684 \text{ m}^2, L = A_s/p = 0.324684/2.288 = 0.141907343 \text{ m}$$

Grushoff number untuk densitas campuran:

$$G_r = \frac{g(\rho_\infty - \rho_s)L^3}{\rho_{avg} \nu^2}$$

$$G_r = \frac{9.81(1.132757329 - 1.072520831)0.141907343^3}{((1.132757329 - 1.072520831)/2)0.00001702^2} = 5286775.055$$

Nussel number untuk natural konveksi dan koefisien konveksi:

$$Nu = 0.15(G_r Pr)^{1/3} = 0.15(5286775.055 \times 0.7255) = 23.48013964$$

$$h_{conv} = Nu \cdot k/L$$

$$h_{conv} = 23.48013964 \times 0.02662/0.141907343$$

$$= 4.404573474 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} A_s (T_s - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{conv} = 4.404573474 \times 0.324684 (317 - 308) = \mathbf{13.79768213 \text{ W}}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh besarnya *heat lost* yang disebabkan oleh konveksi yaitu **140.4251547 W**.

C. Heat lost evaporasi

Dengan menggunakan analogi antara heat dan mass konveksi, mass koefisien ditentukan dengan mengganti bilangan *Pr number* dengan *Sc (Schmidt number)* sebagai berikut:

$$S_c = \nu/D_{AB} = 0.00001702 - 2.76292 \times 10^{-5} = 0.616014727$$

$$S_h = 0.15 G_r S_c = 0.15(5286775.055)(0.616014727) = 22.23404949$$

$$h_{mass} = S_h D_{AB}/L = \frac{22.23404949(2.76292 \times 10^{-5})}{0.141907343} = 0.004328946 \text{ m/s}$$

Kemudian untuk kecepatan penguapan dan kecepatan *heat transfer* oleh penguapan:

$$\dot{m}_v = h_{mass} A_s (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

$$\dot{m}_v = 0.004328946 (0.324684)(0.065491635 - 0.023776242)$$

$$\dot{m}_v = 5.86326 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_v h_{fg} = (5.86326 \times 10^{-5})(2395 \times 10^3) = \mathbf{140.4251547 \text{ W}}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh besarnya *heat lost* yang disebabkan oleh penguapan yaitu **140.4251547 W**.

Perhitungan Besarnya *Power Heater* yang Dibutuhkan

Power heater yang dibutuhkan merupakan total *heat lost* yang terjadi pada *chamber* seperti berikut:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{total, chamber} + \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{Conv} + \dot{Q}_{evap}$$

$$\dot{Q}_{total} = 247.83 + 80.33786622 + 13.79768213 + 140.4251547$$

$$\dot{Q}_{total} = 482.39 \text{ W} \approx 500 \text{ W}$$

Untuk menentukan *power heater* yang dibutuhkan untuk menjaga temperatur pada daerah *chamber* maka diperlukan perhitungan total *heat lost* pada *chamber*. Karena total *heat lost* merupakan *power heater* yang dibutuhkan dari *chamber* tersebut. Dari hasil perhitungan total *heat lost chamber* ditambah *heat lost* yang diakibatkan oleh radiasi, konveksi dan penguapan yaitu sebesar 482.39 W. Maka *heater* yang dipilih untuk sistem tersebut sebesar **500 Watt**.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai perancangan alat dan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dihasilkan dari perancangan tersebut berupa alat uji korosi *salt spray chamber*, dimana sudah memenuhi parameter sesuai standar ASTM B117. Parameter tersebut ialah:
 - a. Pengukuran laju semprot kabut garam menghasilkan 1.5 ml/ jam dengan luas daerah pengumpulan semprot kabut garam 80 cm² sesuai dengan parameter standar ASTM B117 yaitu 1-2 ml/jam.
 - b. Temperatur *chamber* dapat dijaga stabil yaitu 35° C dan dalam batas toleransi penyimpangan saat beroperasi yaitu sesuai dengan standar ASTM B117 temperatur *chamber* 35 ± 2°C.
2. Parameter pengujian laju korosi menggunakan alat *salt spray chamber* hasil perancangan sudah sesuai dengan standar ASTM B117. Hasil pengujian terhadap material plat JIS G 3141 SPCC menghasilkan laju korosi yaitu 27.4665 mpy.

Daftar Pustaka

- [1] Fontana, M.G., (1987), "*Corrosion Engineering, 3rd edition*", McGraw Hill Book Company, Sao Paulo, New York.
- [2] Sidiq, M.F. (2013), "*Analisa Korosi dan Pengendaliannya*", Jurnal Foundry Vol.3 No.1 April 2013 ISSN: 2087-2259.
- [3] Uhlig, H.M., (2000), "*Uhlig's Corrosion Handbook, Second Edition*", John Wiley & Sons, Inc.
- [4] ISO 9227:2006, "*Corrosion Test in Artificial Atmospheres-Salt Spray Tests Standar*".
- [5] (Jay) Yoo, C. H. (1988). "*Performance Evaluation of Protective Painting System on Steel Bridges*", Report, Departement Of Civil Engineering Auburn University
- [6] Mujiarto, I. (2005). "Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif" *Traksi*, 3(2). Retrieved from: <http://server2.docfoc.us/uploads/Z2015/12/02/mBisDcAuD0/71f940bd998fd282c0bdea8c110121af.pdf>.
- [7] Holman, J.P. "*Heat Transfer, 10th ed*". McGraw-Hill International Book Company.
- [8] Ikeuchi & Co., Ltd, "*The Mist Engineer*", Catalog on Pneumatic Spray Nozzles.
- [9] SH 07 EU, "*Spray Engineering Handbook*", Catalog on PNR.
- [10] ASTM Organization, (2003) "*Test Methode For Salt Spray Test - Standar ASTM B117-09*", Annual Book of ASTM Standar. United States.
- [11] H. W. Ashadi, W. Sulistyoweni, dan I. Gusniani, (2002) "*Pengaruh Unsur -Unsur Kimia Korosif Terhadap Laju Korosi Tulangan Beton di dalam Lumpur Rawa*", vol. 6, no. 2, pp. 71-74.
- [12] PAVCO (2014), "*Corrosion Testing Method and Equipment*", ISO 9001:2008.